

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-297610

(43)Date of publication of application : 29.10.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 7/20

G21K 5/04

H01J 37/153

H01J 37/305

(21)Application number : 10-111357

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 08.04.1998

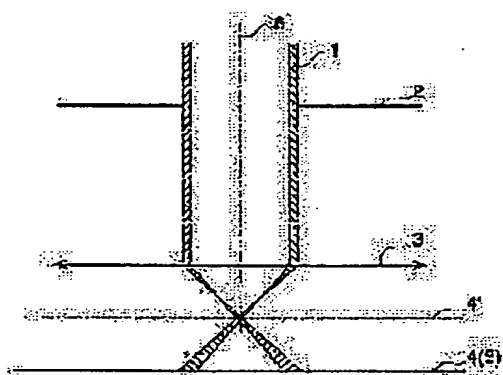
(72)Inventor : KOJIMA SHINICHI

(54) CHARGED PARTICLE BEAM ALIGNER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a charged particle beam aligner in which spherical aberration is reduced without increasing defocus due to Coulomb effect, by using a simple constitution as compared with a correcting method by using a multipolar lens.

SOLUTION: A charged particle beam 1 which has passed a mask is projected on a wafer substrate 5 by a lens 3 projection, and an image of the mask is formed on the wafer substrate 5. A position (the optimum image plane) 4' where the spread of the charged particle beam due to spherical aberration becomes minimum exists at a position nearer to the image plane side than a convergence position 4 of a paraxial charged particle beam, so that a mask is moved to this position and arranged. A ring belt type aperture is arranged in a lighting system. On the optimum image plane position 4', only a charged particle beam of an aperture half angle of at most a specified value is made to be received with an aperture half angle of at least a specified value. Thereby spherical aberration at the optimum image plane position 4' is remarkably reduced.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-297610

(43) 公開日 平成11年(1999)10月29日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	P I
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30 5 4 1 B
G 0 3 F 7/20	5 0 4	G 0 3 F 7/20 5 0 4
G 2 1 K 5/04		G 2 1 K 5/04 M
H 0 1 J 37/153		H 0 1 J 37/153 Z
37/305		37/305 B
審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 8 頁)		

(21) 出願番号 特願平10-111357

(22) 出願日 平成10年(1998)4月8日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 小島 良一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

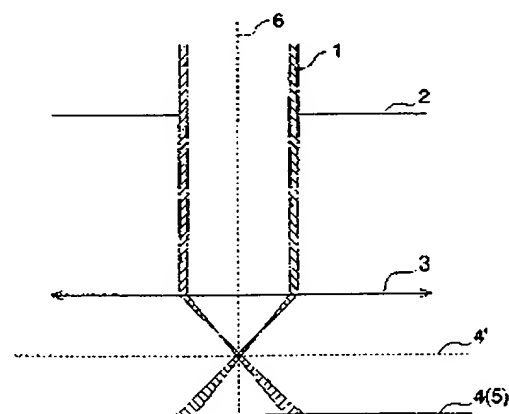
(74) 代理人 弁理士 細江 利昭

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線露光装置

(57) 【要約】

【課題】 クーロン効果によるボケを増大させることなく、また、多極子レンズを使用した補正方法に比して簡単な構成で球面収差を少なくした荷電粒子線露光装置を提供する。

【解決手段】 マスクを通過した荷電粒子線1は、投影用レンズ3により、ウェハ基板5上に投影され、マスクの像をウェハ基板5上に結像する。近軸荷電粒子線の集束位置4より物面側に近い位置に、球面収差による荷電粒子線の広がり最小になる位置（最適像面）4'が存在するので、この位置にマスク5を移動させて配置する。照明系に輪帯状のアパーチャーを設け、最適像面位置4'において所定値以上の開き半角で所定値以下の開き半角の荷電粒子線のみが受光されるようにすれば、最適像面位置4'における球面収差は著しく低減される。



(2)

特開平11-297610

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 結像面上において所定値以上の開き半角で所定値以下の開き半角の荷電粒子線のみが受光されるように、荷電粒子線を遮断するアパーチャが設けられ、かつ、被転写面が、荷電粒子線の広がり最少となる位置に置かれるように調整する手段を有することを特徴とする荷電粒子線露光装置。

【請求項2】 荷電粒子が通過する空間にアパーチャが設けられ、当該アパーチャは、少なくとも第1の半径の円形領域内を遮蔽する遮蔽部と、少なくとも前記第1の半径より大きい半径の円形領域外を遮蔽する遮蔽部とを併せ持ち、かつ、被転写面が、荷電粒子線の広がり最少となる位置に置かれるように調整する手段を有することを特徴とする荷電粒子線露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体集積回路製造プロセスにおいて、レチクルやマスクのパターンをウェハ等の感光基板上に転写するため等に使用される荷電粒子線露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体の高集積化が進むにつれ、集積回路の微細化が要求され、これに伴い、露光装置には、より細かいパターンを描くために、より高い解像度で描画できることが要求されてきている。その中で、電子線に代表される荷電粒子線による露光装置は、このような要求に応えることができるものとして注目されている。

【0003】荷電粒子線露光では、予め集積回路の回路パターンを描いてあるマスクを荷電粒子線で照射し、回路パターンをウェハ基板上に転写する。荷電粒子線露光で一度に露光される領域をサブフィールドと呼ぶが、一つのサブフィールドには回路パターンの一部が描かれている。マスク上のサブフィールドを順次ウェハ基板上に連続して転写することにより、一個の半導体チップの全回路パターンがウェハ基板上に転写される（たとえば、特開平8-64522号公報参照）。

【0004】このような荷電粒子線露光装置の例の概略図を図12に示す。図12において、1は荷電粒子線、2はアパーチャ、3は投影レンズ、4はガウス像面位置、5はウェハ基板、6は光軸、7はマスク、8は荷電粒子線源、9は投影レンズを示す。荷電粒子線源8から放出された荷電粒子線1は、投影レンズ9、アパーチャ2を介してマスク7を照射する。マスク7のパターン部を通過した荷電粒子線は、投影レンズ3、アパーチャ2を介して、マスクパターンの像をウェハ基板5上に結像する。ウェハ基板5は、近軸光線の結像面であるガウス像面位置4に配置されている。

【0005】従来の荷電粒子線露光においては、主として集束用の磁気レンズまたは静電レンズから構成される荷電粒子光学系により荷電粒子線を集束させる。しか

2

し、荷電粒子線光学によると、中心軸の周りに回転対称なレンズを用いた場合、球面収差が必ず残存してしまうことが知られている。球面収差が残存する場合、マスクの像をウェハ基板上に転写したときに転写像が一様にボケてしまう。

【0006】ボケのある像を転写すると、ウェハ基板上に塗布されている感光剤を現像したとき、パターンがぼけてしまう。その結果、線部の不鮮明な、従って設計値からずれた寸法を持つ回路パターンが形成される。このようなことが起こると、形成された回路の電気的特性にはばらつきが生じ、電気信号が半導体集積回路中を正常に流れなくなって動作不良の原因となったり、ゲート長変化により素子特性そのものに影響を与えてしまったりする等の問題点がある。従って何らかの手段を講じて球面収差を抑える必要がある。

【0007】球面収差を補正する従来技術として、多極子レンズ系を使う方法、回転対称レンズ系に補正器として多極子レンズを導入する方法が知られている。

【0008】また、球面収差は、荷電粒子線の像面での角度分布を表す開き半角 α の3乗に比例している。すなわち、球面収差係数の大きさを $C_{s,0}$ とすると、球面収差の大きさは $C_{s,0}\alpha^3$ で表される。よって、球面収差を小さくするために、開き半角を小さくすることも行われている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、多極子レンズによる補正方法は理論的には可能であるが、多極子レンズの製造が非常に難しいという問題点がある。さらに多極子レンズの光軸合わせ（アライメントと呼ばれる）も大変難しい。

【0010】これら、多極子レンズの製造誤差、アライメント誤差により実際の補正レンズ場分布が設計値からはずれてしまい、ずれたレンズ場により余計な収差が発生してしまうため、サブミクロンレベルの荷電粒子光学系では、多極子レンズを使用した補正は実用レベルに達していないことが報告されている（岡山重夫、"電子顕微鏡", Vol. 25, No. 3, (1999), 159-166）。また、多極子レンズ系を導入すれば、レンズの電気制御系もその分複雑になるという問題点もある。

【0011】また、荷電粒子線のボケには、レンズの収差以外に荷電粒子間に働くクーロン反発力（クーロン効果）によっておこる像ボケがある。クーロン効果は、開き半角が小さいほど大きくなるため、球面収差を小さくしようとして開き半角を小さくすると、クーロン効果による像ボケが大きくなるという問題点が生ずる。

【0012】また多極子レンズ補正系を入れると、その分物面-像面間の距離が長くなるため荷電粒子の相互作用時間が長くなり、クーロン効果によるボケが増加する。つまり、従来技術においてクーロン効果によるボケと球面収差ボケの両方を効果的に低減する技術は確立さ

(3)

特開平11-297610

3

4

れていなかった。

【0013】本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、クーロン効果によるボケを増大させることなく、また、多極子レンズを使用した補正方法に比して簡単な構成で球面収差を少なくした荷電粒子線露光装置を提供することを課題とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するための第1の手段は、結像面上において所定値以上の開き半角で所定値以下の開き半角の荷電粒子線のみが受光されるように、荷電粒子線を遮断するアパーチャが設けられ、かつ、被転写面が、荷電粒子線の広がり最少となる位置に置かれるように調整する手段を有することを特徴とする荷電粒子線露光装置（請求項1）である。

【0015】前記課題を解決するための第2の手段は、荷電粒子が通過する空間にアパーチャが設けられ、当該アパーチャは、少なくとも第1の半径の円形領域内を遮蔽する遮蔽部と、少なくとも前記第1の半径より大きい半径の円形領域外を遮蔽する遮蔽部とを併せ持ち、かつ、被転写面が、荷電粒子線の広がり最少となる位置に置かれるように調整する手段を有することを特徴とする荷電粒子線露光装置（請求項2）である。

【0016】（作用）以下、本発明の作用を図を用いて説明する。なお、以下の説明においては、荷電粒子線のことを光線、その中心軸を光軸、その系を光学系等と、荷電粒子線を光の一様として説明することがある。

【0017】図1は本発明による球面収差低減の原理を説明する図、図2は従来の光学系における球面収差の発生を示す図である。図1、図2において、1は荷電粒子線、2はアパーチャ、3は投影レンズ、4はガウス像面（近軸光線の結像面）位置、4'は球面収差が最少になる最適像面位置、5はウェハ基板、6は光軸である。

【0018】マスクを通過した荷電粒子線1は、投影用レンズ3により、ウェハ基板5上に投影され、マスクの像をウェハ基板5上に結像する。

【0019】図2において、球面収差が主な収差であるような従来の光学系における荷電粒子光学レンズの場合、近軸荷電粒子線の集束位置であるガウス像面位置4より物面側に近い位置に、球面収差による荷電粒子線の広がり最少となる位置（最適像面位置）4'が存在する。よって、マスク基板5の位置をガウス像面位置4から最適像面位置4'に移動することにより、ある程度球面収差を小さくすることができる。しかし像面位置をこの最適像面に合わせたときでも、球面収差による荷電粒子線の広がりにはならない。

【0020】発明者は、図2の光学系において、近軸荷電粒子線をカットすることにより、前記最適像面位置4'における球面収差が著しく低減されることを見出した。すなわち、図1のように、最適像面位置4'上に

荷電粒子線のみが受光されるようにすれば、最適像面位置4'における球面収差は著しく低減される。よって、このようなアパーチャを設け、かつマスク等（被転写面）が最適像面位置4'に一致するように調整する手段を設けるといった簡単な構成で、球面収差を大幅に低減することができる。

【0021】請求項1及び課題を解決するための第1の手段の記載において、「結像面上において」というのは、「最適像面位置4'に対応する位置において」ということを意味するものである。

【0022】この方法によれば、開き半角が大きい部分の荷電粒子線が利用されているので、クーロン効果による像ボケが大きくなることを回避できる。また、多極子レンズを使用していないので構造が複雑になることもなく、多極子レンズを使用することに伴うクーロン効果による像ボケをも回避することができる。

【0023】本発明に用いるアパーチャは、結像面上において所定値以上の開き半角で所定値以下の開き半角の荷電粒子線のみが受光されるようにするものであればどのようなものでもよいが、特に請求項2及び発明の実施の形態に記載されるような構造のものとすれば、構造が簡単で製作しやすい。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の例を図を用いて説明する。以下の図においては、前出の図において説明した構成要素には同じ符号を付してその説明を省略する。

【0025】まず、図3に示すような、球面収差が主である磁気2重対称レンズから構成される投影用電子光学系を考える。以下の図においては、課題を解決するための手段及び発明の実施の形態の欄の中での前出の図に示された構成要素と同じ構成要素には、同じ符号を付してその説明を省略する。また、荷電粒子線は電子線として説明する。図3において、7はマスク、12はレンズ磁極、13はレンズコイル、20は偏向器コイルを示す。この電子光学系は1/4縮小投影光学系で、電子線を偏向する偏向器コイル20からなる偏向器を有する。

【0026】マスク7を通過した電子線1は、レンズ磁極12、レンズコイル13を有する投影用レンズによりウェハ基板5面に投影され、マスク7の像をウェハ基板5面に結像する。結像の横方向の位置は、偏向器20により可変とされている。

【0027】像面での電子線の開き半角は、クーロン効果によるボケを十分抑制する目的で17mradと大きくした。このときレンズ収差によるガウス像面上での像ボケが308nmであり、100nmレベルの線幅を転写する露光装置としては実用にはならない。このうち球面収差は293nmであり、レンズ収差の中で主な収差である。

【0028】図4、図5は電子線の分布を示す図である。図4、図5において、10は輪体状アパーチャであ

(4)

特開平11-297610

5

6

る。輪帯状のアパーチャー10を設けない通常の照明の場合、図4のように電子線1は開き半角0mrad~17mradまでの間ではほぼガウシアン分布している。この場合でも通常良く行うように、像面をガウス像面からずらし最適像面位置まで移動することにより、球面収差による像ボケが約1/4倍に小さくなる。これにより、球面収差は73nmにまで低減される。

【0029】しかしそれでも、像面上で1mm偏向すると、レンズ収差によるボケは117nmとなり、100nmを越えてしまう。

【0030】しかしさらに本発明を適用し、図5のように輪帯状アパーチャー10を設け、開き半角を13.6mradから17mradの間に制限することにより、最適像面位置における球面収差によるボケ量を元の293nmの0.16倍、つまり56nmにまで低減可能である。この場合レンズ収差によるボケは105nmに低減される。

【0031】また、同様に輪帯状アパーチャー10で開き半角を15.3mradから17mradの間に制限した場合には、球面収差の最適像面位置におけるボケ量を元の293nmの0.09倍に低減する事ができ、最適像面位置における球面収差は26nmにまで低減する。この場合レンズ収差によるボケは91nmで、100nm解像度を達成できる。

【0032】一方開き半角分布が15.3mradから17mradの間と大きい場合、クーロン効果による像ボケは大幅に抑制され25μAの電子線を照射した場合に40nm程度であり、極めて大電流の割にはボケは小さい。従って、レンズ収差、クーロン効果によるボケは合わせて99nm(各ボケの自乗和の平方根で定義)であり100nm線幅の解像度を達成できる。

【0033】なお、輪帯状アパーチャー10を用いることにより球面収差以外の収差が変化する割合は十分小さく、無視できる程度である。また、輪帯状アパーチャー10を入れる位置は、絞りのある位置であればどこでもよい。図6、図7に、輪帯状アパーチャー10を入れる位置の例を示す。図6、図7において、8は電子線源、9は照明用レンズを示す。

【0034】図6は、照明系の絞り部分に、輪帯状アパーチャー10を入れた例を示す図であり、最も一般的に考えられる例である。電子線1は、照明用レンズ9により平行ビームとされ、その後マスク7上に集光され、投影用レンズ3により、マスク7の像をウェハ基板5上に結像する。

【0035】図6においては、2つの照明レンズ9の間の電子線1が平行ビームとされている位置に輪帯状アパーチャー10が設けられている。輪帯アパーチャー10により、最適像面位置4'での開き半角が所定値以上で所定値以下の範囲の電子線のみが結像に寄与することになる。この状態で、ウェハ基板5を、最適像面位置4'に移動配置するか、補助レンズにより、最適像面位置をウェハ基板5が配置されている位置に合わせるようにす

る。

【0036】図7においては、2つの投影用レンズ3の間の電子線1が平行ビームとされている位置に輪帯状アパーチャー10が設けられている。輪帯状アパーチャー10により、最適像面位置4'での開き半角が所定値以上で所定値以下の範囲の電子線のみが結像に寄与することになる。この状態で、ウェハ基板5を、最適像面位置4'に移動配置するか、補助レンズにより、最適像面位置をウェハ基板5が配置されている位置に合わせるようにする。

【0037】クーロン効果を低減させる意味からは、輪帯状アパーチャー10を照明系に設ける図6に示すような方式の方がより好ましい。

【0038】本発明に係るアパーチャーの形状は、結像に寄与する電子線の結像面における開き半角を所定値以上所定値以下に制限するような形状のものであれば、どのような形状の開口部を有するものでもよい。図8、図9にその例を示す。

【0039】図8は、所定半径より小さい円形領域内と、それより大きな半径の円形領域外の電子線を遮蔽するように構成されたドーナツ状の開口部を持つアパーチャーであり、内側の遮蔽板を支えるための部材により開口部が2分されている例である。

【0040】図9は、複数の円形開口部を、各円の中心が同一の円の円周上にあるように、かつ等間隔に配置したアパーチャーの例である。図8、図9に示すようなアパーチャーは構造が簡単で製造が容易である。

【0041】ウェハ基板5を最適像面位置に合わせる方法の例を図10、図11に示す。図10において1'は、補正前の電子線、1''は補正後の電子線、3'は補正レンズ(焦点補正コイル)である。

【0042】図10においては、最適像面位置4'に焦点を結んでいた電子線1'は、補正レンズ3'の働きにより1''のようになり、ガウス像面位置4の位置に焦点を結ぶようになる。すなわち、最適像面位置が4'から4の位置に移動する。よって、ウェハ基板5を移動させなくても、ウェハ基板5を最適像面位置に置くことができる。

【0043】図11においては、ウェハ基板5を最適像面位置4'の位置まで移動させ、ウェハ基板5上に焦点が合うようにしている。

【0044】最適像面位置4'を求めるためには、例えば次のような方法が適当である。第1の方法は、ウェハステージの高さをいろいろに変え、実際にダミーウェハを使用してパターンを焼きつけ、そのパターンをSEMにより観察する方法である。SEM像を観察し、最も良い解像度の得られるステージ高さを最適像面位置とする。

【0045】第2の方法においては、ウェハステージ又は校正用のウェハ上に基準マークを設け、この基準マー

(5)

特開平11-297610

7

8

ク上を電子ビームでスキャンして反射信号を検出し、反射電子信号の微分値 ($d(\text{信号量})/d(\text{スキャン位置})$) を求め、この微分値からばけを読み取る方法である。これを、ウェハステージの高さを変えて行い、ばけ量が所定の範囲内になるか最小となるステージ高さを最適像面位置とする。

【0046】以上の方法は、ウェハステージ高さを調整することにより、被転写面を最適像面位置に置く方法に関するものであるが、補正レンズにより被転写面を最適像面位置に置く方法を採用した場合は、補正レンズによる補正量を変えながら上記と同様の方法で最適補正量を見出すようにすればよい。

【0047】なお、以上の発明の実施の形態の説明では、荷電粒子線として電子線を用いる場合について説明したが、本発明は、他の荷電粒子を使用した露光装置においても適用できることは言うまでもない。

【0048】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1に係る発明は、結像面上において所定値以上の開き半角で所定値以下の開き半角の荷電粒子線のみが受光されるように、荷電粒子線を遮断するアパーチャが設けられ、かつ、被転写面が、荷電粒子線の広がり量が最少となる位置に置かれるように調整する手段を有することを特徴とする荷電粒子露光装置であるので、多極子歪極等を使用することなく、簡単な構成で球面収差を小さくすることができ、また、クーロン効果による像ボケの増大を防ぐことができる。

【0049】光学設計に利用できる限られたレンズ設計の自由度を球面収差以外の収差を低減することに使い、残った球面収差を本発明による方法で効果的に低減することにより、結果的に十分低収差な荷電粒子光学系を得ることが可能になる。

【0050】請求項2に係る発明は、荷電粒子が通過する空間にアパーチャが設けられ、当該アパーチャは、少なくとも第1の半径の円形領域内を遮蔽する遮蔽部と、少なくとも前記第1の半径より大きい半径の円形領域外を遮蔽する遮蔽部とを併せ持ち、かつ、被転写面が、荷電粒子線の広がり量が最少となる位置に置かれるように調整する手段を有することを特徴とする荷電粒子露光装置であるので、請求項1に係る発明と同様の効果を奏

*し、かつ、アパーチャの構造が簡単で製作しやすい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による球面収差低減の原理を説明する図である。

【図2】従来の光学系における球面収差の発生を示す図である。

【図3】投影用電子光学系の例を示す図である。

【図4】従来技術におけるマスク面での電子線の開き角分布の例を示す図である。

10 【図5】本発明におけるマスク面での電子線の開き角分布の例を示す図である。

【図6】本発明において、アパーチャを設ける位置の一例を示す図である。

【図7】本発明において、アパーチャを設ける位置の他の例を示す図である。

【図8】本発明に係るアパーチャの一例を示す図である。

【図9】本発明に係るアパーチャの他の例を示す図である。

20 【図10】補正レンズにより最適像面位置をウェハ基板に合わせる方法を示す図である。

【図11】ウェハ基板位置の移動により最適像面位置をウェハ基板に合わせる方法を示す図である。

【図12】従来の荷電露光装置の例を示す概略図である。

【符号の説明】

1…荷電粒子線（電子線）

1'…補正前の電子線

1''…補正後の電子線

2…アパーチャ

3…投影レンズ

3'…補正レンズ

4…ガウス像面位置

4'…最適像面位置

5…ウェハ基板

6…光軸

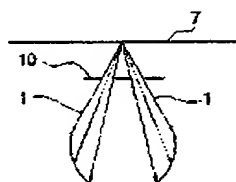
7…マスク

8…電子線源

9…照明用レンズ

*40 10…輪体状アパーチャ

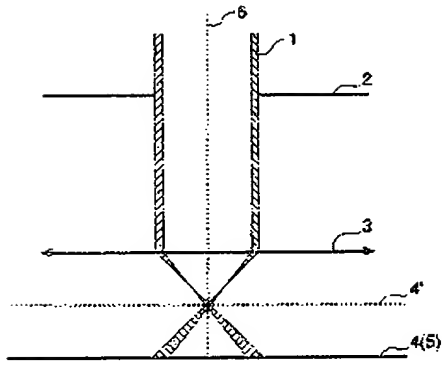
【図5】



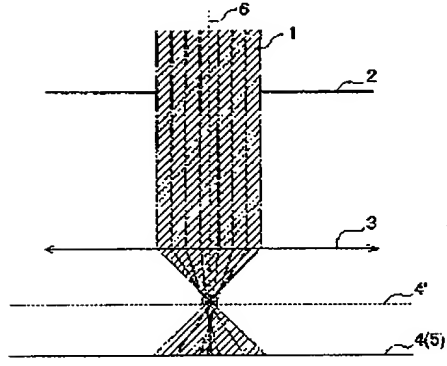
(5)

特開平11-297610

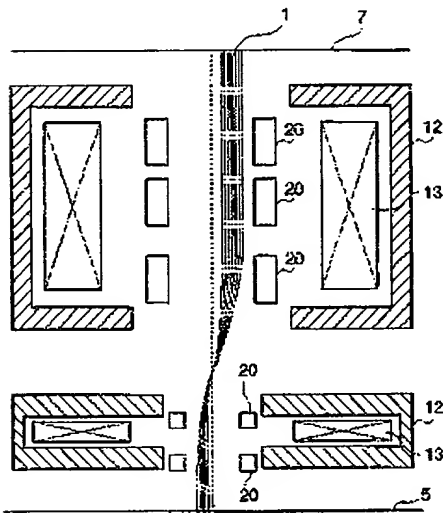
【図1】



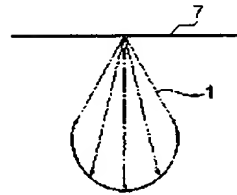
【図2】



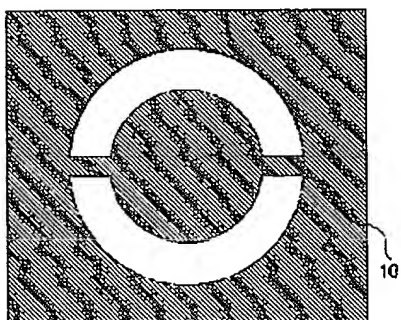
【図3】



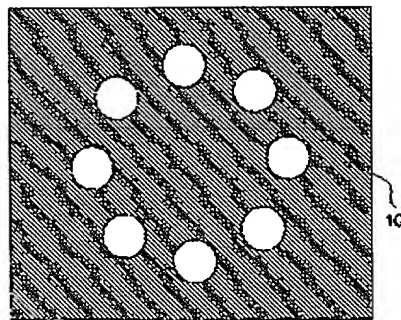
【図4】



【図8】



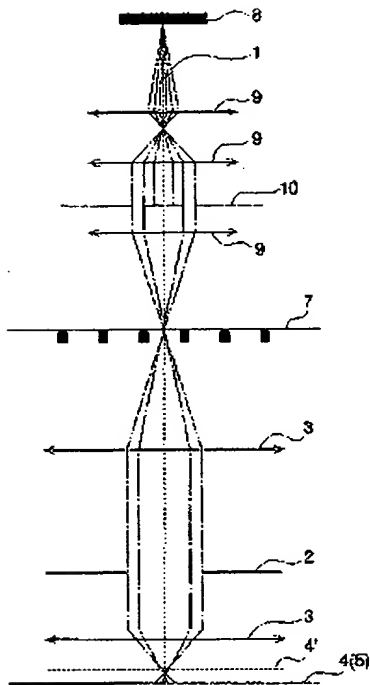
【図9】



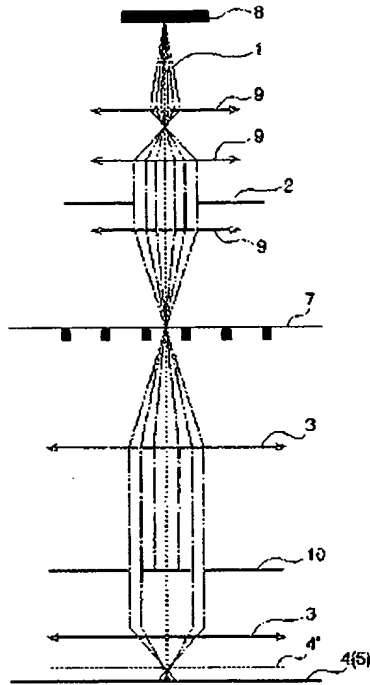
(7)

特開平11-297610

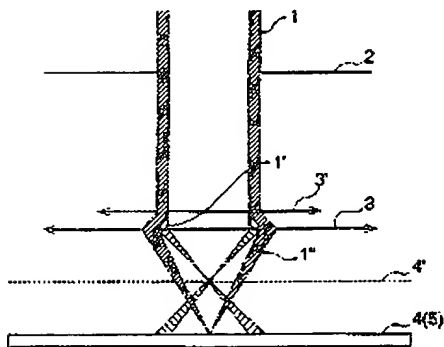
【図6】



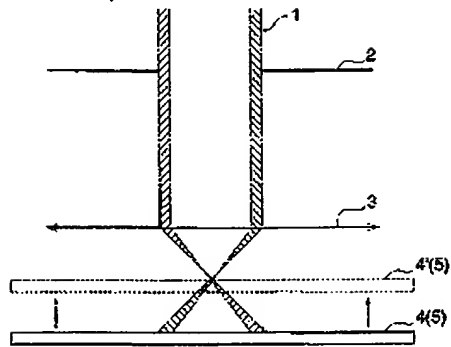
【図7】



【図10】



【図11】



(8)

特開平11-297610

【図12】

